

## Fuel injection for internal combustion engine

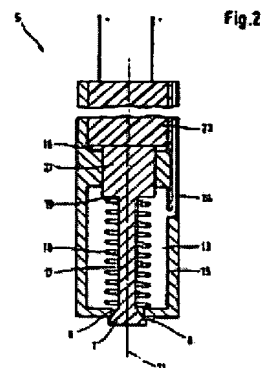
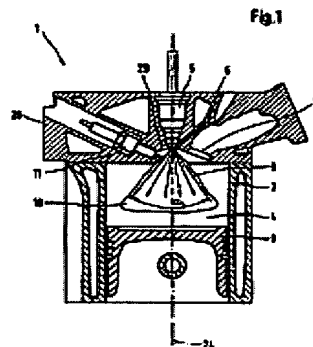
**Patent number:** DE19642653  
**Publication date:** 1998-01-22  
**Inventor:** KARL GUENTER DR ING (DE); ENDERLE CHRISTIAN  
DIPL ING (DE); KRAEMER STEPHAN DIPL ING (DE);  
ROESLER KLAUS DIPL ING (DE)  
**Applicant:** DAIMLER BENZ AG (DE)  
**Classification:**  
- **international:** F02B23/10; F02M45/00; F02D41/26; F02D41/34;  
F02M61/00; F02B17/00  
- **europaen:** F02B23/10C; F02F3/26; F02B17/00D; F02D33/00;  
F02M51/06A; F02M61/08; F02M61/16B  
**Application number:** DE19961042653 19961016  
**Priority number(s):** DE19961042653 19961016

**Also published as:**

US5983853 (A1)  
GB2318390 (A)  
FR2754564 (A1)

**Abstract of DE19642653**

The fuel injection system has the injector (5) control with a variable jet opening to alter the spray pattern (9) of the injected fuel. The optimum amount of fuel injected for every cycle is determined by the size of the injector opening and the injection time. The injector opening value can be varied during an injection cycle. The injector opening value can be individually adjusted for every cylinder. The cone angle of the injected fuel increases with increasing injector opening. The injection pattern for each cycle is determined from the engine parameters and from a control programme.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (15870)**

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 196 42 653 C 1

21 Aktenzeichen: 196 42 653.7-13  
22 Anmeldetag: 16. 10. 96  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 22. 1. 98

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
F 02 B 23/10  
F 02 M 45/00  
F 02 D 41/26  
F 02 D 41/34  
F 02 M 61/00  
F 02 B 17/00

DE 196 42 653 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,  
DE

72 Erfinder:

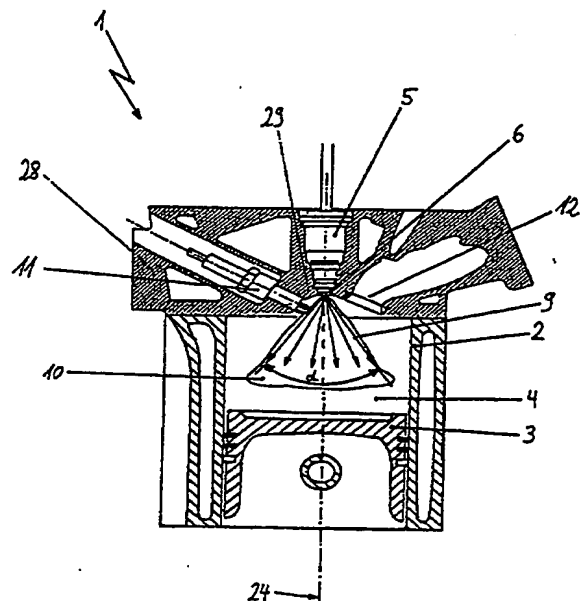
Enderle, Christian, Dipl.-Ing., 73666 Baltmannsweiler,  
DE; Krämer, Stephan, Dipl.-Ing., 71397 Leutenbach,  
DE; Karl, Günter, Dr.-Ing., 73732 Esslingen, DE;  
Rößler, Klaus, Dipl.-Ing., 73776 Altbach, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 1 95 48 528 A1  
DE 43 24 642 A1

54 Verfahren zur Bildung eines zündfähigen Kraftstoff/Luft-Gemisches

57 In den Zylindern von direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen ist ein zündfähiges Kraftstoff/Luft-Gemisch bildbar, indem in jeden von einem Kolben begrenzten Brennraum mittels eines Injektors bei Freigabe einer Düsenöffnung durch Abheben eines Ventiltügels von einem die Düsenöffnung umfassenden Ventilsitz Kraftstoff eingespritzt wird. Um unter allen Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine, insbesondere im Schichtladungsbetrieb, eine verbrauchs- und emissionsoptimierte innere Gemischbildung in jedem Betriebspunkt des gesamten Kennfeldes zu ermöglichen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß der Öffnungshub des Ventiltügels und die Einspritzzeit variabel einstellbar sind.



DE 196 42 653 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bildung eines zündfähigen Kraftstoff/Luft-Gemisches in einer direkt-einspritzenden Brennkraftmaschine gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der DE 43 24 642 A1 ist bereits eine direkteinspritzende Brennkraftmaschine bekannt, bei der in jedem Zylinder von einem Kolben ein Brennraum begrenzt ist, in den ein zentral im Brennraumdach angeordneter Injektor Kraftstoff zur inneren Bildung eines zündfähigen Kraftstoff/Luft-Gemisches einspritzt. Die Elektroden einer Zündkerze ragen in der Nähe der Düsenöffnung des Injektors in den Kraftstoffstrahl ein, wodurch im Niedriglastbereich der Brennkraftmaschine mit Schichtladung die stabile Verbrennung eines insgesamt mageren Gemisches durch Zündung eines fetteren Gemisches in der Nähe der Elektroden der Zündkerze erfolgt, welches durch Einspritzung von Kraftstoff in einer späteren Phase des VerdichtungsHubes des Kolbens bereitgestellt ist. Die Brennkraftmaschine umfaßt eine elektronische Steuereinheit, welche die von dem Injektor eingespritzte Kraftstoffmenge und den Einspritzzeitpunkt sowie den Zündzeitpunkt der Zündkerze betriebspunktoptimal steuert, wodurch die Verbrennungsscharakteristik über die festgelegten Faktoren wie Einspritzdruck, Form und Größe der Düsenöffnung, Brennraumform, Verdichtungsverhältnis usw. hinaus beeinflussbar ist.

Diese Variationsmöglichkeiten der Einspritzparameter reichen jedoch unter vielen Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine nicht aus, um bei Schichtladungsbetrieb über weite Bereiche des Kennfeldes der Brennkraftmaschine die Optimierung der inneren Gemischbildung mit geringem Kraftstoffverbrauch und Emissionen zu gewährleisten.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Bildung eines zündfähigen Kraftstoff/Luft-Gemisches in direkt-einspritzenden Brennkraftmaschinen bereitzustellen, welches unter allen Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine die Optimierung der inneren Gemischbildung in jedem Betriebspunkt, insbesondere im Schichtladungsbetrieb ermöglicht.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

Indem bei der Kraftstoffeinspritzung der Öffnungshub des Ventillgiedes relativ zum Ventilsitz eines Injektors und die Einspritzzeit variabel einstellbar sind, sind mehrere Vorteile erzielt. Grundsätzlich ist es möglich, mit einem entsprechenden Öffnungshub des Ventillgiedes eine bestimmte Kraftstoffmenge während einer variablen Dauer der Einspritzzeit in den Brennraum einzuspritzen und damit die innere Gemischbildung, d. h. im Schichtladungsbetrieb die Kraftstoffkonzentration bzw. die Luftverhältnisse (Lambda-Werte) der durch den eingespritzten Kraftstoffstrahl im Brennraum gebildeten Gemischwolke, über den Faktor der Einspritzzeit zu steuern. Dabei wird der Kraftstoff vom Injektor vorteilhaft in einem sich aufweitenden Kegelstrahl in den Brennraum eingespritzt, wodurch abhängig von dem Einspritzzeitpunkt im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine eine Gemischwolke mit unterschiedlichen Lambda-Werten entsprechend dem Einspritzwinkel des Kegelstrahls im Brennraum ausgebildet ist. Durch die Variationsmöglichkeiten des Öffnungshubes des Ventillgiedes ist der Einspritzwinkel des Kegelstrahls ebenfalls variabel einstellbar.

Vorteilhaft ist der Einspritzwinkel des Kegelstrahls

mit zunehmendem Öffnungshub des Ventillgiedes größer, wodurch die Strahlcharakteristik des Kegelstrahls, welche bei einzelnen Injektoren unterschiedlich sein kann, zur Erzielung eines optimalen Betriebsverhaltens der Brennkraftmaschine anpaßbar ist. Die unterschiedlichen Strahlcharakteristiken treten aufgrund von Streuungen in der Serienfertigung von Injektoren oder auch Zylinderköpfen usw., aber auch aufgrund von Verschleiß oder Ablagerungen mit zunehmender Betriebszeit der Brennkraftmaschine auf und können z. B. durch Strahlsträhmigkeit zu für die Entzündung ungünstigen Lambda-Werten vor allem im Bereich der Zündkerze durch eine ungünstige Lage der Gemischwolke im Brennraum führen. Der variabel einstellbare Öffnungshub des Ventillgiedes ermöglicht in jedem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine durch die Einspritzung mit einem geeigneten Einspritzwinkel die Bereitstellung des zündfähigen Kraftstoff/Luft-Gemisches an den Elektroden der Zündkerze.

Mit Vorteil ist der Öffnungshub des Ventillgiedes jedes Zylinders individuell einstellbar, so daß mit gegebenenfalls unterschiedlichen Einspritzwinkeln die Strahlcharakteristiken der einzelnen Injektoren in den Zylindern zur Erzielung eines optimalen Betriebsverhaltens der Brennkraftmaschine optimal anpaßbar sind.

Vorteilhaft ist der Öffnungshub des Ventillgiedes während des Einspritzvorganges verstellbar, wodurch eine dynamische Beeinflussung des Einspritzwinkels und auch des Kraftstoff-Massenstromes durch die Düsenöffnung möglich ist. Die Vergrößerung des Einspritzwinkels während der Einspritzung erreicht eine freie Wählbarkeit des Brennbeginns, indem zu diesem Zeitpunkt brennbares Gemisch in den Bereich der Elektroden der Zündkerze gebracht ist. Die Benetzung der Elektroden mit Kraftstoff und in der Folge die Verkokung durch Verbrennung des Kraftstoffes sind minimiert und somit ist die Lebensdauer der Zündkerze erhöht. Die Verkleinerung des Öffnungshubes des Ventillgiedes und somit die Verringerung des Kraftstoff-Massenstromes durch die Düsenöffnung erlaubt im Gegensatz zu einem konstanten Kraftstoff-Massenstrom bei gleichbleibendem Öffnungshub des Ventillgiedes, wo in der Gemischwolke in den düsenfernen Bereichen mager Gemische mit hohen Lambda-Werten und in den düsennahen Bereichen fette Gemische mit geringen Lambda-Werten ausgebildet sind, die Ausbildung von Gemischwolken mit optimalen Lambda-Gradienten oder auch annähernd konstanten Luftverhältnissen.

Die Einstellung des Öffnungshubes des Ventillgiedes und der Einspritzzeit erfolgt zum verbrauchs- und emissionsoptimierten Betrieb der Brennkraftmaschine unter Zugrundelegung der für den jeweils vorliegenden Betriebspunkt in einem Einspritzkennfeld abgelegten Einstellungsparametern des Öffnungshubes und der Einspritzzeit. Im Betrieb der Brennkraftmaschine mit den eingestellten Parametern des Öffnungshubes des Ventillgiedes und der Einspritzzeit werden Motorparameter, z. B. die Laufruhe der Brennkraftmaschine, gemessen und mit den für den jeweils vorliegenden Betriebspunkt der Brennkraftmaschine in einem Motorkennfeld abgelegten Sollwerten verglichen. Abweichungen der gemessenen Motorparameter von den abgelegten Sollwerten können z. B. bei der ersten Inbetriebnahme der Brennkraftmaschine infolge Serienstreuung bei der Fertigung der an der Einspritzung beteiligten Bauteile oder auch nach einem langen Betriebszeitraum durch Verschleiß oder Ablagerungen auftreten. Ist die Laufruhe der Brennkraftmaschine unzufriedenstellend, so erfolgt

eine Variation des Öffnungshubes des Ventilgliedes bis ein optimales Betriebsverhalten mit Übereinstimmung der gemessenen Motorparameter und der Sollwerte des Motorkennfeldes erreicht ist. Die ermittelten Idealparameter werden im Einspritzkennfeld abgelegt und ersetzen die bisherigen Einstellungsparameter für diesen Betriebspunkt, wobei im Fall des wiederholten Anfahrens dieses Betriebspunktes die nunmehr abgelegten Idealparameter der Einstellung des Öffnungshubes des Ventilgliedes und der Einspritzzeit zugrunde gelegt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere zur inneren Gemischbildung in Otto-Brennkraftmaschinen geeignet. Dabei beträgt der Öffnungshub des Ventilgliedes vorteilhaft maximal 0,1 mm, wodurch infolge geringer Hubwege bei großem Kraftstoff-Durchsatz durch die Ventilöffnung kurze Öffnungszeiten ermöglicht sind. Im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine ist der Öffnungshub des Ventilgliedes zwischen etwa 0,02 mm und etwa 0,06 mm einstellbar und ermöglicht die Ausbildung von Gemischwolken im Brennraum mit unterschiedlichsten Luftverhältnissen, wodurch eine verbrauchs- und emissionsoptimierte Schichtverbrennung durchführbar ist. Der vom Öffnungshub des Ventilgliedes abhängige Einspritzwinkel des Kegelstrahls beträgt vorteilhaft zwischen etwa 70° und 100° und stellt sicher, daß außerhalb der Kernzone des Brennraums angeordnete Elektroden einer Zündkerze im Schichtladungsbetrieb in die Gemischwolke einragen und bei geringfügigen Ablagerungen infolge Kraftstoff-Benetzung zuverlässig zünden. Der Faktor der Einspritzzeit während der Freigabe der Düsenöffnung des Injektors erlaubt in jedem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine durch Einspritzung einer bestimmten Kraftstoffmenge mit einem spezifischen Öffnungshub des Ventilgliedes die Steuerung der inneren Gemischbildung, d. h. im Schichtladebetrieb die Luftverhältnisse der Gemischwolke. Erfolgen in einem Arbeitsspiel des Kolbens mehrere Kraftstoff-Einspritzungen in den Brennraum, so ist eine weitere Möglichkeit zur Beeinflussung der inneren Gemischbildung gegeben.

Das Verfahren zur Bildung eines zündfähigen Kraftstoff/Luft-Gemisches in einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine ist beispielsweise durch Verwendung des Injektors durchführbar, welcher Gegenstand der deutschen Patentanmeldung DE 195 48 526.2 ist.

Ausführungs- und Anwendungsbeispiele der Erfindung sind nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Zylinderquerschnitt einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine,

Fig. 2 einen Querschnitt eines Injektors,

Fig. 3 ein Flußdiagramm der Steuerung eines Injektors,

Fig. 4 in einem Diagramm die Einstellungsparameter des Injektors in Abhängigkeit von der Motordrehzahl,

Fig. 5 in einem Diagramm die Einstellungsparameter des Injektors in Abhängigkeit von der Abgasrückführungsrate bzw. der Drosselung der Brennkraftmaschine,

Fig. 6 in einem Diagramm die Einstellungsparameter des Injektors in Abhängigkeit von der Aufladung der Brennkraftmaschine,

Fig. 7 in einem Diagramm den Einspritzwinkel des Kegelstrahls in Abhängigkeit vom Öffnungshub,

Fig. 8 in einem Diagramm die Veränderung des Einspritzwinkels während der Einspritzzeit,

Fig. 9 in einem Diagramm den Durchsatz der Düsenöffnung in Abhängigkeit vom Öffnungshub,

Fig. 10 in einem Diagramm die Änderung des Öff-

nungshubes während der Einspritzdauer.

Fig. 1 zeigt einen Zylinder 2 einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine 1, in dem ein längsbeweglich angeordneter Kolben 3 mit einem den Zylinder 2 verschließenden Zylinderkopf 28 einen Brennraum 4 begrenzt. In zentraler Lage auf der Längsachse 24 des Zylinders 2 durchsetzt ein Injektor 5 den Zylinderkopf 28 und ist mit seiner Düsenöffnung 6 durch ein sich kegelig erweiterndes Brennraumdach 29 in den Brennraum 4 geführt. Eine Steuereinheit (nicht dargestellt) bestimmt spezifisch für jeden Betriebspunkt der Brennkraftmaschine 1 den zur Stellung des Kolbens 3 im Zylinder 2 gehörigen Zeitpunkt der Freigabe der Düsenöffnung 6, ab dem Kraftstoff in einem Kegelstrahl 9 in den Brennraum 4 eingespritzt wird. Der Einspritzwinkel  $\alpha$  des Kegelstrahls 9 ist dabei bestimmt durch den Öffnungshub eines Ventilgliedes in der Düsenöffnung 6. Im Brennraum 4 ist mit der durch einen Einlaßkanal 12 im Zylinderkopf 28 zuführbaren Frischluft und dem eingespritzten Kraftstoff ein zündfähiges Kraftstoff/Luft-Gemisch bildbar, welches im Schichtladebetrieb der Brennkraftmaschine 1 mit Kraftstoffeinspritzung im Kompressionshub des Kolbens 3 in Form einer mit dem Öffnungswinkel  $\alpha$  des Kegelstrahls 9 ausgebildeten Gemischwolke 10 vorliegt, welche sektional unterschiedliche Luftverhältnisse (Lambda-Werte) aufweist.

Eine Zündkerze 11 ragt den Zylinderkopf 28 durchsetzend durch einen Kegelschenkel des Brennraumdaches 29 derart in den Brennraum 4, daß die Elektroden in die Gemischwolke 10 einstechen und durch Auslösung eines Zündfunken die Gemischwolke 10 am Rand entzünden. Liegt durch Strähnigkeit des Kegelstrahls 9 oder infolge von Serienstreuung des Injektors 5, der Düsenöffnung 6, des Zylinderkopfes 28 usw. oder durch Verschleiß oder Ablagerungen auf den Elektroden der Zündkerze 11 oder auf der Düsenöffnung 6 an den Elektroden der Zündkerze 11 kein zündfähiges Gemisch vor, so kann durch Veränderung des Einspritzwinkels  $\alpha$  die Lage der Gemischwolke 10 im Brennraum 4 verändert werden und an den Elektroden ein zündfähiges Gemisch bereitgestellt werden.

Fig. 2 zeigt in einem Querschnitt den schematischen Aufbau eines Injektors 5 zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur inneren Gemischbildung. In einem zylindrisch um eine Längsachse 24 ausgebildeten Injektorgehäuse 15 ist eine Kraftstoffkammer 13 ausgebildet, welche von einem Ventilschaft 17 durchsetzt ist. Der Ventilschaft 17 endet in einem kegelig bzw. konisch ausgebildeten Ventilglied 7, welches von außen an einem Ventilsitz 8 in der Laibung einer Düsenöffnung 6 anliegt. Bei axialer Verschiebung des Ventilschaftes 17 hebt sich das Ventilglied 7 von dem Ventilsitz 8 ab, wodurch dieses die Düsenöffnung 6 zum Auslaß des in der Kraftstoffkammer 13 unter Druck stehenden Kraftstoffes freigibt. Der Öffnungshub des Ventilgliedes 7 und die Dauer der Freigabe der Düsenöffnung 6 (Einspritzzeit) bestimmt dabei im Rahmen der inneren Gemischbildung sowohl den Kraftstoffdurchsatz durch die Düsenöffnung 6 und die gesamte Einspritzmenge als auch den Einspritzwinkel des von der Düsenöffnung 6 ausgehenden Kegelstrahls, welcher insbesondere die Gemischbildung im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine durch Ausbildung einer Gemischwolke im Brennraum beeinflusst.

Dem Ventilglied 7 gegenüberliegend ist der Ventilschaft 17 unter Ausbildung einer breiten Ringschulter 19 mit einem Druckkolben 27 verbunden, welcher von einem nach innen gerichteten und die Kraftstoffkammer

13 begrenzenden Führungsabschnitt 33 des Injektorgehäuses 15 geführt ist. Der Druckkolben 27 ragt dabei in einen auf der der Kraftstoffkammer 13 gegenüberliegenden Seite des Führungsabschnittes 33 im Injektorgehäuse 15 ausgebildeten Elongationsraum 16 ein, in dem eine mechanische Wandlervorrichtung für elektrische Impulse angeordnet ist. Die Wandlervorrichtung kann z. B. ein Piezoelement 23 sein, welches am in den Elongationsraum 16 einragenden Endabschnitt des Druckkolbens 27 formschlüssig anliegt und bei Anlegen einer elektrischen Spannung durch die eigene Elongation den Druckkolben 27 verschiebt und infolge dessen die Düsenöffnung 6 zur Abspritzung von Kraftstoff aus der Kraftstoffkammer 13 freigibt. Die Elongation des Piezoelementes 23 ist gemäß dem piezoelektrischen Effekt proportional der angelegten Spannung, wodurch der Öffnungshub des Ventiltgliedes 7 durch Anlegen einer entsprechenden elektrischen Spannung exakt steuerbar und variabel einstellbar ist.

Zum Verschließen der Düsenöffnung 6 wird die elektrische Spannung am Piezoelement 23 reduziert, welches sich infolge dessen verkürzt. Eine Druckfeder 18 in der Kraftstoffkammer 13, welche sich an der Ringschulter 19 des Druckkolbens 27 einerseits sowie an der Innenseite des Injektorgehäuses 15 benachbart der Düsenöffnung 6 andererseits abstützt, wird das Ventiltglied 7 in den Ventilsitz 8 zurückgedrängt. Ist die Brennkraftmaschine mit einem Common-Rail-Einspritzsystem ausgerüstet, wobei die Kraftstoffkammer 13 über die Kraftstoffzuleitung im Injektorgehäuse 15 unter hohem Druck steht, so wird die das Ventiltglied 7 in den Ventilsitz 8 zum Schließen der Düsenöffnung 6 drängende Rückstellkraft dadurch aufgebracht, daß der Druckkolben 27 einen größeren Durchmesser aufweist als die Düsenöffnung 6. Die größere, druckbeaufschlagte Fläche des Druckkolbens 27 bewirkt eine Verschiebung des Druckkolbens 27 mit dem Ventilschaft 17 in Schließstellung. Die zur Steuerung des Öffnungshubes des Ventiltgliedes 7 notwendigen elektrischen Spannungen sind um den Betrag einer elektrischen Spannung höher, welche zur Überwindung der in der Kraftstoffkammer 13 auf den Druckkolben 27 durch die Differenzdruckfläche ausgeübten Druckkraft notwendig ist, welche das Ventiltglied in die Verschließstellung drängt.

In Fig. 3 ist schematisch der Ablauf der Steuerung des Öffnungshubes eines Ventiltgliedes und der Einspritzzeit zur optimalen Gemischbildung in jedem Betriebspunkt einer Brennkraftmaschine durch eine Injektorsteuerung 25 dargestellt. Für jeden Betriebspunkt der Brennkraftmaschine, welcher durch die Drehzahl  $n$  und die Last  $L$  bestimmt ist, sind in einem Einspritzkennfeld 20 die jeweils optimalen Einstellungsparameter 21 des Öffnungshubes des Ventiltgliedes und der Einspritzzeit abgelegt. Bei Anfahren eines beliebigen Betriebspunktes der Brennkraftmaschine werden die entsprechenden Einstellungsparameter 21 dem Kennfeld 20 entnommen und von der Injektorsteuerung 25 der Einstellung des Öffnungshubes und der Einspritzzeit bei der Kraftstoff-Einspritzung für einen verbrauchs- und emissionsoptimierten Betrieb der Brennkraftmaschine zugrunde gelegt. Die im Einspritzkennfeld 20 abgelegten Einstellungsparameter 21 mehrerer Injektoren verschiedener Zylinder einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine können unterschiedlich sein und führen dabei zu zylinderspezifischen Gemischbildungen in den einzelnen Brennräumen. Nach der Einstellung des Injektors durch die Injektorsteuerung 25 werden Motorparameter 31 gemessen, z. B. die Laufruhe der Brennkraftmaschine,

und mit in einem Motorkennfeld 30 abgelegten, betriebspunktspezifischen Sollwerten 32 in einer Reglereinheit 26 verglichen. Weichen die gemessenen Motorparameter 31 von dem im Motorkennfeld 30 abgelegten Sollwerten 32 ab, d. h. die Laufruhe der Brennkraftmaschine ist nicht zufriedenstellend, veranlaßt die Reglereinheit 26 eine Variation der Einstellungsparameter 21, welche in den folgenden Arbeitsspielen der Brennkraftmaschine von der Injektorsteuerung 25 der Einstellung der Injektoren zugrunde gelegt werden. Ist nach fortlaufendem Vergleich gemessener Motorparameter 31 mit den Sollwerten 32 des Motorkennfeldes 30 schließlich bei optimalem Betriebsverhalten der Brennkraftmaschine eine Übereinstimmung erreicht, so endet die Parametervariation der Reglereinheit 26. Die ermittelten Idealparameter 22 für eine optimale Gemischbildung in dem spezifischen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine werden im Einspritzkennfeld 20 abgelegt und ersetzen die bisherigen Einstellungsparameter 21 für diesen Betriebspunkt, wodurch beim nächsten Anfahren dieses Betriebspunktes der Brennkraftmaschine die korrigierten Idealparameter 22 der Injektorsteuerung 25 bereitstellbar sind.

Derartige Korrekturen der Einstellungsparameter 21 können zum Beispiel bei erster Inbetriebnahme der Brennkraftmaschine nötig sein aufgrund von Streuungen in der Serienfertigung von Injektoren, Zylinderköpfen usw., welche im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine die Ausbildung einer idealen Gemischwolke durch Beeinflussung des Kraftstoff-Kegelstrahls verhindern, oder auch aufgrund von Veränderungen des Kegelstrahlverhaltens infolge von Verschleiß oder Ablagerungen mit zunehmender Betriebsdauer der Brennkraftmaschine. Bei der Korrektur der Einstellungsparameter 21 führt dabei eine Erhöhung des Öffnungshubes zu einer Vergrößerung des Einspritzwinkels des Kegelstrahls. Im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine sind dadurch Abweichungen der Luftverhältnisse ( $\Lambda$ -Werte) und der Brennraumlage der Gemischwolke von den Einstellungswerten für eine optimale Gemischbildung ausgleichbar. Die Überprüfung des Betriebsverhaltens der Brennkraftmaschine, d. h. das Vergleichen der gemessenen Motorparameter 31 (Laufruhe) mit den Sollwerten 32 des Motorkennfeldes 30, kann während der Laufzeit der Brennkraftmaschine kontinuierlich oder in vorgegebenen Intervallen erfolgen.

In Fig. 4 sind in einem Diagramm die Einstellungsparameter des Öffnungshubes und der Einspritzzeit in Abhängigkeit von der Drehzahl einer direkteinspritzenden Otto-Brennkraftmaschine dargestellt. Im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine beeinflusst die Drehzahl die Lage der Gemischwolke im Brennraum, so daß zum Erreichen einer optimalen Gemischbildung im gesamten Kennfeld die Einstellungsparameter Öffnungshub bzw. Einspritzzeit angepaßt werden müssen. Die Gemischaufbereitung erfolgt dabei mit steigender Drehzahl durch exponentielle Erhöhung des Öffnungshubes bei linearer Reduzierung der Einspritzzeit. Bei einem Betriebspunkt mit einer Drehzahl von 2000 U/min beträgt die optimale Einspritzzeit etwa 0,75 ms bei einem Öffnungshub von 0,02 mm, während bei einer Drehzahl von 6000 U/min die optimalen Einstellungsparameter 0,375 ms Einspritzzeit und 0,03 mm Öffnungshub sind.

In Fig. 5 ist in einem Diagramm der Verlauf der Einstellungsparameter für die optimale Gemischbildung im Kennfeld einer Brennkraftmaschine dargestellt, in deren Brennraum eine reduzierte Sauerstoffkonzentration

vorliegt. Unter diesen Betriebsverhältnissen arbeitet eine Brennkraftmaschine dann, wenn eine Abgasrückführung vorgesehen ist oder eine Teildrosselung zum Beispiel zum Freibrennen des Brennraumes oder zur Verbesserung der Bedingungen zur Abgasnachbehandlung. Der reduzierte Frischluft-Massenstrom sowie dessen Temperatur und auch die veränderten Druckverhältnisse im Brennraum erfordern eine Anpassung der Gemischbildung durch Veränderung der Einspritzparameter im Kennfeld. Dabei wird mit zunehmender Abgasrückführungsquote bzw. Teildrosselung die Einspritzzeit linear erhöht und der Öffnungshub invers exponentiell reduziert. Im Betriebspunkt ohne Abgasrückführung bzw. im ungedrosselten Betrieb betragen die optimalen Einstellungsparameter 0,25 ms Einspritzzeit und 0,06 mm Öffnungshub, während im Betriebspunkt mit einer Abgasrückführungsquote bzw. einer Teildrosselung von 50% die Einspritzzeit 0,5 ms und der Öffnungshub 0,025 mm beträgt.

Fig. 6 zeigt in einem Diagramm die optimalen Einstellungsparameter im Kennfeld einer aufgeladenen Brennkraftmaschine, bei der es wichtig ist, den eingespritzten Kraftstoff in einem kleinen Brennraumbereich zu verteilen. Dementsprechend wird mit steigender Aufladung der Öffnungshub exponentiell vergrößert und die Einspritzzeit linear reduziert, wodurch im gesamten Kennfeld der Brennkraftmaschine eine Gemischwolke mit optimalen Lambda-Werten gebildet ist. Der Öffnungshub wird dabei von 0,02 mm bei 0% Aufladung bis auf etwa 0,025 mm bei 50%iger Aufladung der Maschine gesteigert, während die Einspritzzeit im selben Kennfeldbereich von 0,75 ms auf etwa 0,6 ms reduziert ist.

Fig. 7 zeigt in einem Diagramm die Erhöhung des Einspritzwinkels eines Kraftstoff-Kegelstrahls von etwa 75° bis etwa 90° mit zunehmendem Öffnungshub eines Ventiliertes beim freigebenden Abheben von einem Ventilsitz in der Düsenöffnung eines Injektors von etwa 0,03 mm auf 0,06 mm. Dadurch kann sichergestellt werden, daß in jedem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine im Schichtladungsbetrieb den Elektroden einer in den Brennraum einragenden Zündkerze ein zündfähiges Kraftstoff/Luft-Gemisch zur Zündung bereitgestellt ist. Nach Einspritzende bewegt sich die Gemischwolke im Brennraum in Richtung des Kolbenbodens, so daß die Gefahr der Gemischabmagerung im Bereich der Elektroden auf nicht zündfähige Lambda-Werte besteht. Um bei geringer, Verkokung verursachender Kraftstoff-Benetzung der Elektroden zu einem bestimmaren Zeitpunkt brennbares Gemisch in den Bereich der Elektroden zu bringen und damit den Zündzeitpunkt zu wählen, ist, wie in Fig. 8 graphisch dargestellt, vorgesehen, während der Einspritzzeit den Einspritzwinkel durch Erhöhung des Öffnungshubes kurzzeitig zu vergrößern. Durch die dynamische Veränderung des Einspritzwinkels während der Einspritzzeit liegt kurzzeitig ein fettes Kraftstoff/Luft-Gemisch an den Elektroden vor, welches zur Zündung vorgesehen ist. Außerhalb des Zündintervalls mit großem Einspritzwinkel von etwa 90° ergibt sich während der Einspritzzeit durch den kleinen Einspritzwinkel von etwa 80° Elektroden mit Kraftstoff und somit eine Reduzierung von Ablagerungen.

Fig. 9 veranschaulicht in einem Diagramm die invers exponentiell erhöhte Durchflußrate einer freigegebenen Düsenöffnung in Abhängigkeit von dem zunehmenden Öffnungshub des Ventiliertes. Bei einem konstanten Öffnungshub, wodurch ein gleichmäßiger Kraftstoff-Massenstrom in den Brennraum eingespritzt würde, läge im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftma-

schine in der gebildeten Gemischwolke in den düsen-nahen Bereichen ein relativ fettes Kraftstoff/Luft-Gemisch und in den düsenfernen Bereichen ein relativ mageres Gemisch vor. Um ein Abmagern der Gemischwolke in den düsenfernen Bereichen und somit eine nicht vollständige Oxidation des Kraftstoffes infolge von zu hohem Luftüberschuß zu verhindern, ist vorgesehen, während der Einspritzung den Kraftstoff-Massenstrom durch die Düsenöffnung zu reduzieren. Dies erfolgt, wie in Fig. 10 dargestellt, durch dynamische Verkleinerung des Öffnungshubes von etwa 0,06 mm zu Beginn der Kraftstoff-Einspritzung auf 0,02 mm am Ende der Kraftstoff-Einspritzung kurz vor dem Schließen der Düsenöffnung. Die Verkleinerung des Öffnungshubes erfolgt dabei während der Kraftstoff-Einspritzung invers exponentiell, wodurch der Großteil einer zugemessenen Kraftstoffmenge mit einer hohen Durchflußrate durch die Düsenöffnung zu Beginn der Einspritzzeit in den Brennraum eingespritzt wird.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bildung eines zündfähigen Kraftstoff/Luft-Gemisches in den Zylindern (2) einer direkteinspritzenden Brennkraftmaschine (1), wobei in jeden von einem Kolben (3) begrenzten Brennraum (4) mittels eines Injektors (5) bei Freigabe einer Düsenöffnung (6) durch Abheben eines Ventiliertes (7) von einem die Düsenöffnung (6) umfassenden Ventilsitz (8) Kraftstoff eingespritzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Öffnungshub des Ventiliertes (7) und die Einspritzzeit variabel einstellbar sind.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Öffnungshub des Ventiliertes (7) während des Einspritzvorganges verstellbar ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Öffnungshub des Ventiliertes (7) jedes Zylinders (2) individuell einstellbar ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Injektor (5) den Kraftstoff in einem sich aufweitenden Kegelstrahl (9) in den Brennraum einspritzt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Kegelstrahl (9) im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine (1) eine kegelförmige, Kraftstoff/Luft-Gemisch führende Gemischwolke (10) mit von der Einstellung des Öffnungshubes des Ventiliertes (7) abhängigen Luftverhältnissen ausbildet, in die die Elektroden einer Zündkerze (11) einragen.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Einspritzwinkel ( $\alpha$ ) des Kegelstrahls (9) mit zunehmendem Öffnungshub des Ventiliertes (7) größer ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung des Öffnungshubes des Ventiliertes (7) und die Einspritzzeit in jedem Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) unter Zugrundelegung von für den jeweils vorliegenden Betriebspunkt in einem Einspritzkennfeld abgelegten Einstellungsparametern erfolgt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei Abweichung der gemessenen Motorparameter (31) von in einem Motorkennfeld (30) abgelegten Sollwerten (32) im jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine (1) bei jeder Ein-

spritzung eine Variation des Öffnungshubes des Ventilgliedes (7) erfolgt, bis ein optimales Betriebsverhalten mit Übereinstimmung der gemessenen Motorparameter (31) und der Sollwerte (32) des Motorkennfeldes (30) erreicht ist, wobei die ermittelten Idealparameter (22) die bisherigen Einstellungsparameter (21) ersetzend im Einspritzkennfeld (20) abgelegt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Öffnungshub des Ventilgliedes (7) maximal 0,1 mm beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Schichtladungsbetrieb der Brennkraftmaschine (1) der Öffnungshub des Ventilgliedes (7) zwischen etwa 0,02 mm und etwa 0,06 mm einstellbar ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Einspritzwinkel ( $\alpha$ ) des Kegelstrahls (9) abhängig vom Öffnungshub des Ventilgliedes (7) zwischen etwa 70° und 100° beträgt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Arbeitsspiel des Kolbens (3) mehrere Einspritzungen erfolgen.

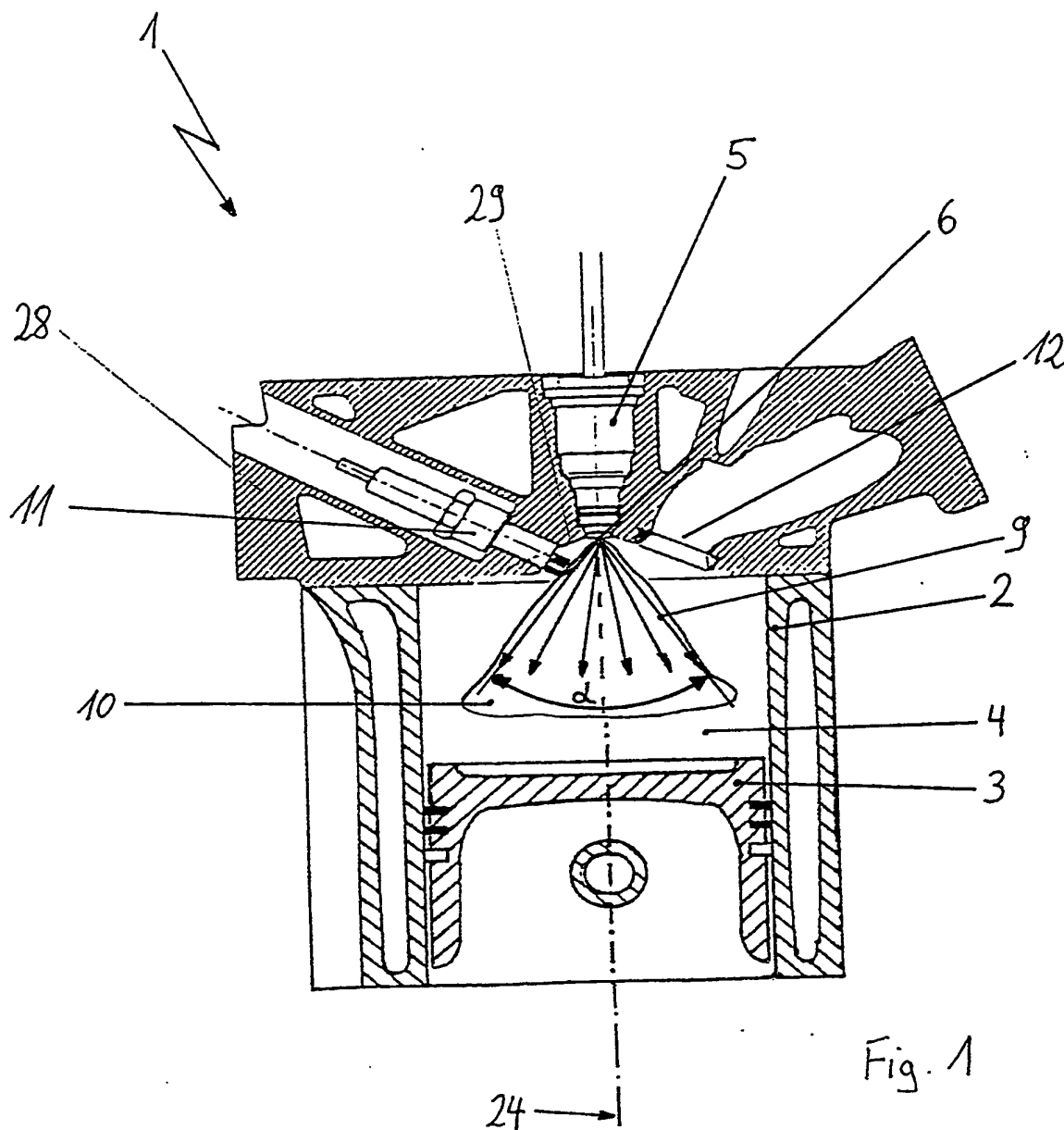
---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---



- Leerseite -



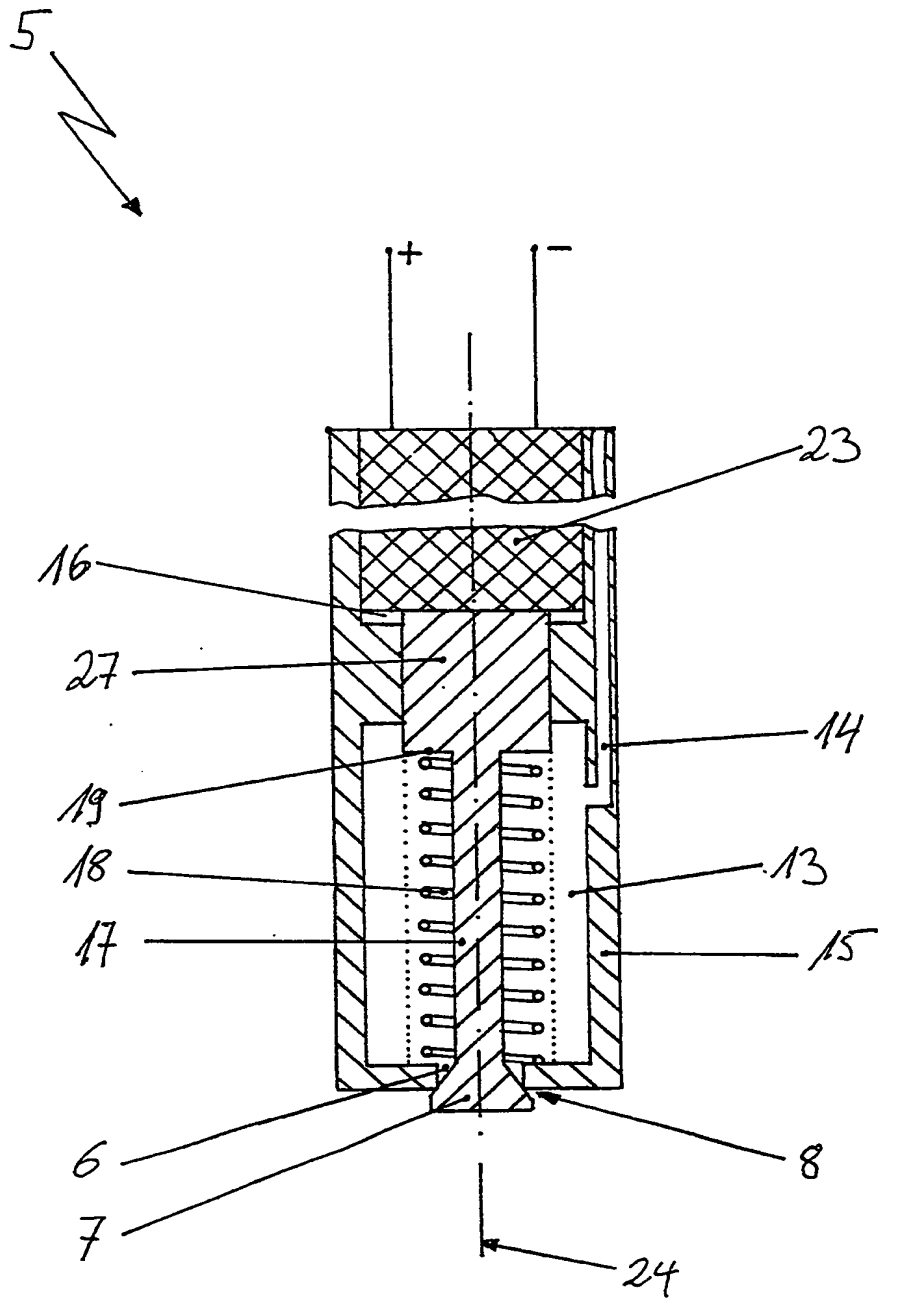


Fig. 2

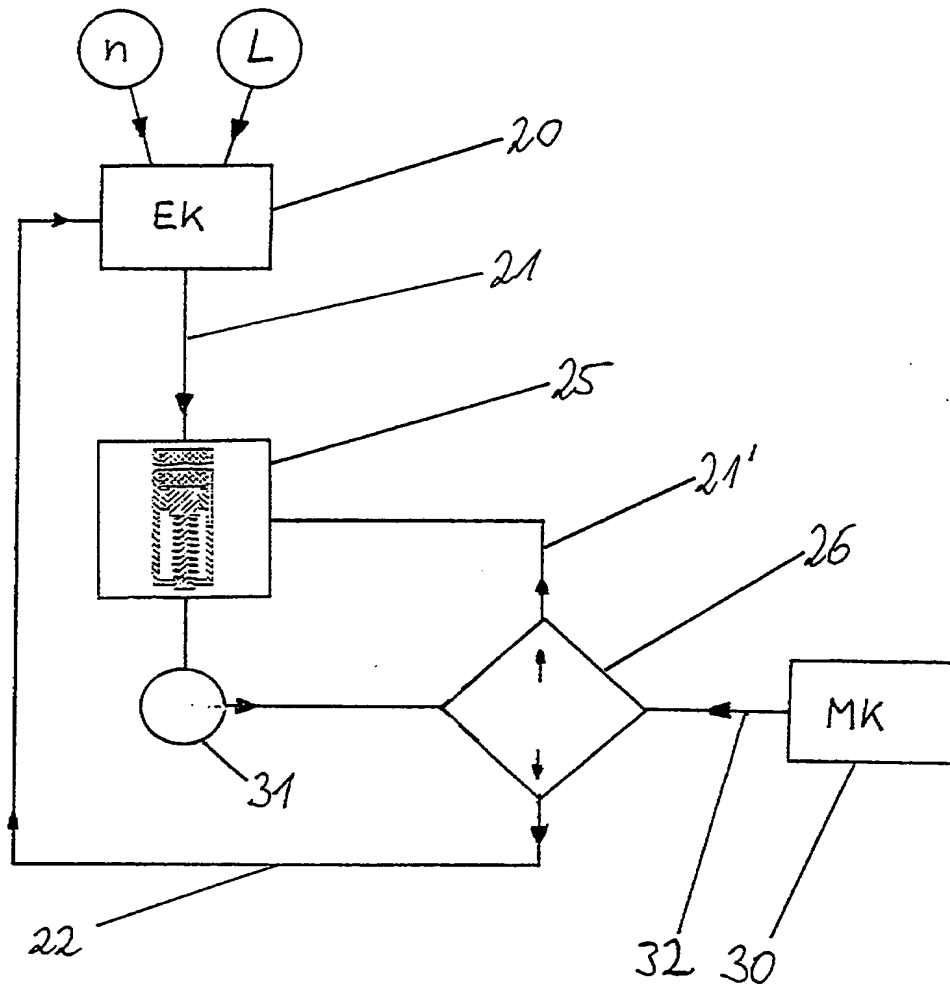


Fig. 3

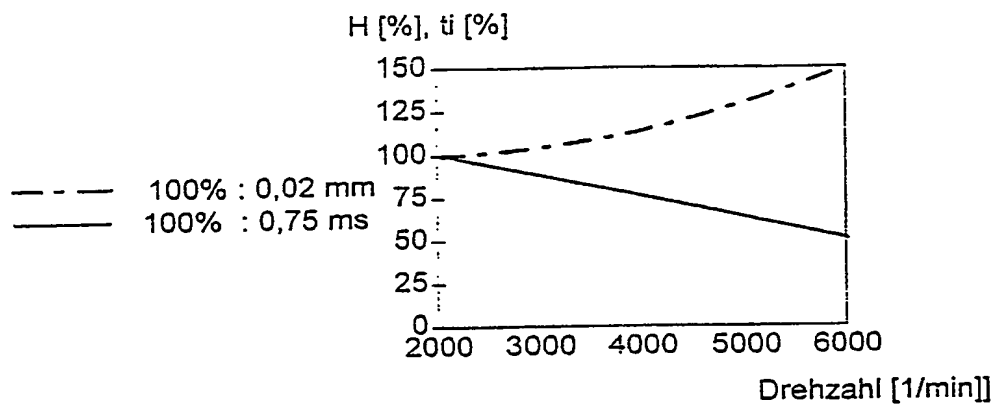


Fig. 4

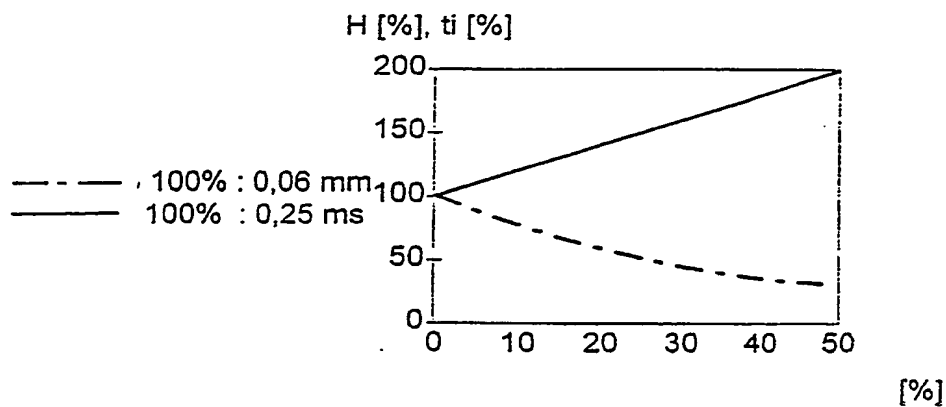


Fig. 5

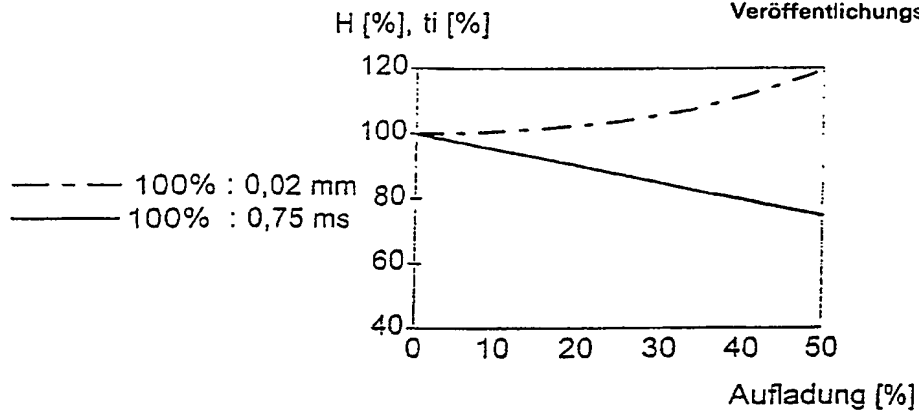


Fig. 6

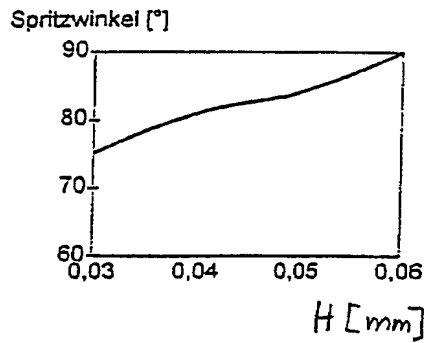


Fig. 7

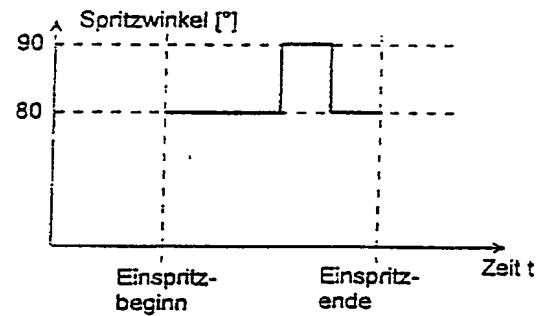


Fig. 8

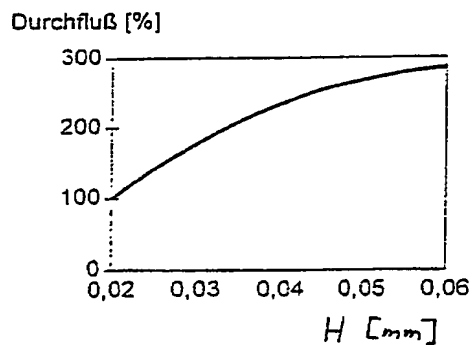


Fig. 9

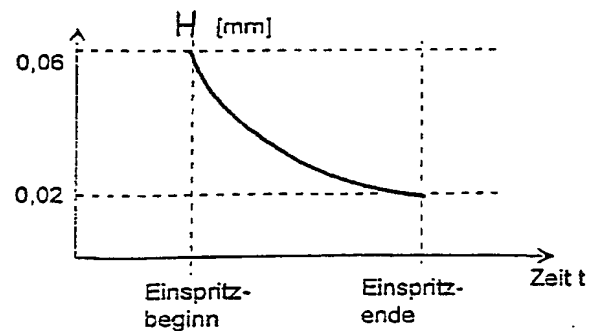


Fig. 10